虫草蝠蛾生态学的研究Ⅲ. 幼虫越冬与生理调节*

杨大荣　沈发荣　杨跃雄　龙勇诚
（中国科学院昆明动物研究所）

鲁自春生　斯那都吉　喻润清
（云南省德钦县科学技术委员会）

摘　要

本文报道了云南虫草蝠蛾*Hepialus* sp.**的幼虫越冬与生理调节。结果表明：（1）该虫以幼虫态越冬。冬季栖息土层深度在3～35厘米之间，密集越冬层是15～25厘米处；1～3龄虫离土表较浅，4～6龄虫较深。越冬层地温处于－0.5～－6.8°C；幼虫密集层的地温是－0.5～－2.5°C。（2）幼虫越冬初期体内脂肪、糖、蛋白质、无机盐类等含量增加，水份则降低；整个冬季，随着代谢的消耗，脂肪、蛋白质、糖含量逐步下降，水份继续减低。（3）翌年春天，当幼虫解除越冬时，体内水份猛增，而其它生化成分则继续下降。从而证明虫草蝠蛾幼虫越冬期间为适应严寒，进行了一系列的生理代谢调节。

关键词：虫草蝠蛾，幼虫，越冬，代谢，生理调节

蝠蛾属*Hepialus*昆虫是冬虫夏草真菌的寄主。该属昆虫越冬与生理代谢调节的研究，目前鲜见报道。作者等于1984年至1987年冬季，在云南西北部的冬虫夏草主产区白马雪山和人支雪山，定时、定点取样调查1,300多个样方，结合三年来雪山的气候因子，对虫草蝠蛾*Hepialus* sp.越冬习性进行了详细观察；并对越冬期和生长期的幼虫进行了部分生理生化分析，测定与比较研究，探讨了该虫越冬与生理代谢的调节。

---

*国家自然科学基金资助项目。

**已定名，待发表。

本文1986年12月30日收到，1988年4月18日修回。

调查与试验方法

（一）野外调查与观测方法：在每年冬季（11至3月），云南德钦县冬虫夏草主产区选不同类型的山势，每月定时，定点进行越冬规律调查。调查时，每挖取一平方米为一个基本取样单位，每组样地根据面积的大小每月抽样52～142平方米。记录调查的幼虫数、栖息深度、地温、冻土层厚度、积雪厚度和日照时数等数据。同时记录大气温度，进行整理与分析。

（二）幼虫体生化物质测定与分析方法：材料来源于云南白马雪山虫草蝙蛾饲养基地。

1.氨基酸含量测定：应用氨基酸自动分析仪（瑞典：LKB4,400—020型），测定越冬期和生长期幼虫的氨基酸含量，比较不同时期的含量异同。样品处理参照杨大荣（1987）的方法。

2.微量元素的测定：用电感耦合等离子体发射光谱仪（美国：ILplasma—200型），测定比较幼虫不同时期的微量元素变化。样品预处理参照杨跃雄（1987）的方法。

3.脂肪含量测定：用索氏（Soxhlet）脂肪提取法，测定不同时期幼虫体脂肪变化情况。

4.糖含量测定：用班乃德（Benedict）滴定法，测定幼虫体糖的的含量。

5.水份含量测定：用干、湿物质比重法，测定不同时期幼虫体内水份含量。

结果分析

（一）幼虫越冬与环境因子的关系

1.幼虫越冬特点：虫草蝙蛾仅以幼虫越冬，由于幼虫历期极长（平均890.8天），所以越冬虫世代重叠，不同龄期幼虫均可见到。

冬季该虫的隧道距土表4～5厘米处，随着温度的降低，顶端被虫用粪便和土严实塞住，形成坚硬的粒状冰渣。越冬隧道内壁光滑紧密，与夏季生长期的疏松、粗糙隧道截然相反。随着温度的下降，幼虫逐渐向土层深处移动。由于发育阶段的不同，入土深度也不同。

幼虫入土的深度首先取决于龄期、生理状况及其在土中的活动能力。1～3龄虫由于个体小，筑隧道进度慢，所以大部份集中于8～15厘米深的隧道中越冬，个别仅在土层3厘米深处过冬。4～6龄虫个体大，筑隧道快而深，越冬多集中于15～25厘米深的土层隧道中，少数可达35厘米土层中。冬季，该虫食料被封冻，幼虫已不能取食，因而大部份虫的消化道里无食物，仅见个别幼虫的消化道中有残余粪便。整个冬季幼虫都在冻土层中越冬。

2.幼虫越冬与气候因子：越冬期间，由于山势、日照时数、积雪和冻土层的厚度不同，所以越冬地的大气温度与地温也不相同（表1）。

表1.　虫草蝙蝠蛾幼虫越冬与气候因子的关系（1984至1987年）

月份	调查地点	海拔（米）	调查取样数（平方米）	获得幼虫数（头）	幼虫越冬密集层地温（℃）	幼虫越冬层最低地温（℃）	冻土层厚度（厘米）	日照百分率（%）	积雪厚度（厘米）	大气温度℃ 月平均	最高	最低
十一月	白马雪山虫草西洼	4,580	142	91	-0.6	-2.3	25.4	72	0	-7.2	8.4	-17.5
	人支雪山虫草新洼	4,400	60	56	-0.8	-2.1	36.2	70	0	-6.8	8.2	-15.3
	白马雪山叶日荒草坝	4,500	44	53	-0.5	-2.2	32.0	63	11.8	-7.0	5.2	-16.8
十二月	白马雪山虫草西洼	4,580	120	78	-1.2	-3.2	41.0	76	8.2	-12.6	3.2	-21.8
	人支雪山虫草新洼	4,400	82	32	-1.5	-4.4	76.0	76	8.0	-13.2	3.9	-24.4
	白马雪山叶日荒草坝	4,500	52	58	-0.8	-4.7	56.0	60	31.0	-14.5	2.1	-30.5
一月	白马雪山虫草西洼	4,580	110	53	-1.8	-5.1	48.0	78	11.4	14.2	1.7	-22.7
	人支雪山虫草新洼	4,400	40	34	-2.3	-6.8	128.6	70	12.8	-14.0	2.6	-28.2
	白马雪山叶日荒草坝	4,500	58	60	-1.2	-3.8	98.0	64	50.6	-16.9	0.8	-31.2
二月	白马雪山虫草西洼	4,580	80	72	-1.8	-4.5	48.6	69	11.5	-10.6	2.0	-19.3
	人支雪山虫草新洼	4,400	96	65	-2.0	-6.0	104.0	67	12.8	-14.3	1.8	-21.0
	白马雪山叶日荒草坝	4,500	60	64	-1.6	-3.8	98.0	43	48.8	-16.8	0.8	-29.6
三月	白马雪山虫草西洼	4,580	88	80	-1.1	-3.0	46.0	77	11.5	-6.0	6.6	-14.2
	人支雪山虫草新洼	4,400	58	22	-1.7	-4.1	101.0	72	12.8	-6.1	6.3	-16.7
	白马雪山叶日荒草坝	4,500	114	90	-1.8	-4.0	96.0	47	56.4	-12.2	2.2	-21.8

每年10月下旬，雪山草甸开始自上而下形成冻土，随着温度不断下降，冻土厚度逐渐加深。从表1可以看出，到11月冻土厚度已超过25厘米，到最冷的1月份，冻土已厚达48至128厘米。幼虫由于地温的降低，虫体产生生理反应，体温逐渐下降，渐呈冬眠或半冬眠状态，出现了不取食和少活动现象，就是在人为的刺激下，也只有较深层的幼虫能缓慢活动。随着冬季的延长，虫体表皮开始皱缩，幼虫停止了生长。

越冬幼虫由于个体生理状况的差异，以及进入越冬时期和当时地温的不同，该虫不同发育阶段抵抗严寒程度也不相同；就是同一个发育阶段的不同个体也不尽相同。据调查，1～3龄虫越冬土层浅，最耐低温，多处于－0.5～－4.2°C之间的地温中，极少数可在－6.8°C中越冬，其中部份浅层幼虫完全进入冬眠状态；4～6龄虫越冬土层较深，温度较稳定，一般处于－0.5～－2.3℃的地温中。在最冷的的1～2月份，大部份4～6龄幼虫取出时，还能缓慢爬动。

从调查中看到，雪被是构成幼虫顺利越冬的重要条件之一。每年秋末，雪山草甸降雪量增加，雪被复盖加厚，使幼虫越冬地的地温得以缓慢地降低，使虫有一个逐步适应的过程，从而减少越冬死亡率，而且雪被覆盖厚，地温相对稳定，冻土层变化小，幼虫越冬成活率也就高。春天冰雪融化，地温上升，土层同时从土表向下和从深处未冻层向上解冻也是缓慢地变化，使幼虫解除越冬有一个生理上的适应过程。

（二）营养物质与水份对越冬幼虫生理调节控制作用

1.越冬幼虫脂肪、糖与水份代谢调节的特点（表2）。

表2. 幼虫越冬时体重、水份、脂肪和糖的变化测定结果

时期	分析虫数（头）	平均体重（头/克）	体内水份含量（%）	脂肪含量（虫体干重，%）	糖的含量（虫体干重，%）
9—10	50	0.6632	80.2	22.6	19.74
11	50	0.6400	74.3	19.6	22.00
1	50	0.4368	58.2	18.8	22.82
4	50	0.4688	76.4	16.1	18.60

注：（1）材料来源：云南白马雪山；（2）供试幼虫均为4龄虫。

该虫从准备越冬期(每年的10月)至解除越冬（每年4月）出现以下生理调节特点：每年秋季幼虫大量取食，体重和体内脂肪、糖、蛋白质等含量迅速增加；接近停食前，体内水份大量降低。整个冬季，随着代谢的消耗，体重和脂肪、水份逐步下降，到1月最冷时期，糖则继续上升。而在春天复甦期（4月），幼虫准备脱离越冬状态或已脱离该状态之后，为了进入发育、生长期，该虫增加了代谢量，但又不能迅速大量取食补充，脂肪和糖及蛋白消耗极大，成为全年含量最低时期；而含水量则急剧上升，已经同生长繁殖旺季6至8月相差无几。

2.幼虫体内微量元素与蛋白质对越冬抗寒的作用（表3，表4）。

表3. 幼虫越冬和生长期间的微量元素分析比较

试验幼虫期	微量元素含量（微克/毫升）											
	P	Mg	Ca	Na	Ee	Zn	Al	Si	B	Mn	Cu	Co
越冬期幼虫（1月份）	42.54	13.12	5.83	4.96	2.79	2.12	0.90	0.55	0.38	0.36	0.03	0.02
生长发育时期幼虫（7月份）	36.06	11.05	2.36	4.23	1.30	1.10	0.90	0.01	0.33	0.27	0.01	0.01

*测试仪器：IL Plasma—200型电感耦合等离子体发射光谱仪

表4. 虫草蝠蛾幼虫越冬与生长期间氨基酸的分析比较

氨基酸		样品（mg/100mg）干物质含量	
		越冬期幼虫	生长发育期幼虫
GLU	谷氨酸	6.72	6.23
ASP	天门冬氨酸	5.18	4.69
LEU	亮氨酸	3.80	3.54
SER	丝氨酸	3.76	2.46
ALA	丙氨酸	3.72	2.70
ARG	精氨酸	3.64	3.16
TYR	酪氨酸	3.40	2.76
LYS	赖氨酸	3.32	3.26
PRO	脯氨酸	3.16	2.58
GLY	甘氨酸	2.68	2.16
THR	苏氨酸	2.26	2.23
AAL	缬氨酸	2.16	2.55
PHE	苯丙氨酸	2.02	1.93
HIS	组氨酸	1.68	1.27
ILE	异亮氨酸	1.46	1.95
NH_3	氨	1.14	1.63
MET	蛋氨酸	0.44	0.59
总和		50.54	45.69

* 测试仪器：LKB 4400—020氨基酸自动分析仪

虫草蝠蛾耐低温能力较强。越冬幼虫能抵御严寒的重要作用之一是增高细胞中渗透压的各种物质以及物理化学过程，从而促使幼虫机体的耐寒力加强。

从虫体含微量元素和氨基酸分析比较结果中看出：当越冬幼虫体内的含水量下降时（表2），便增高了无机盐类的含量，其中磷酸盐、镁盐、钙和氯化物增长十分显著，其它元素也明显地比生长期增高，从而使细胞原生质的粘性增加，渗透压提高，增强了虫体的耐寒性。越冬虫体内的氨基酸含量增加，也是幼虫抗寒的特征之一。

讨 论

（一）中国科学院动物研究所（1973）在四川康定地区的研究报道指出：虫草蝙蛾幼虫是在冻土层以下越冬，并有取食现象。青海畜牧兽医研究院（1980）在玉树地区的研究报道：越冬幼虫已冻成完全僵硬、易碎和半僵硬状态。作者等经三年多的定点、定时观察结果发现，该虫越冬情况与前人的报道不尽相同：（1）幼虫在3～35厘米深度的冻土层中越冬，在最冷时节冻土层已厚达50～130厘米，未见幼虫深入到该土层以下的深度越冬。（2）幼虫的食物在冬季全部被坚硬的冻土封住，我们调查时用利斧才能劈开冻土，此时幼虫已无法取食。同时，在解剖的越冬幼虫的消化道里，除了个别虫体在后肠有残存的零星粪便外，见不到任何食物。（3）幼虫越冬时，在浅土层有部份呈冬眠状态；深层内大多数呈不完全冬眠状态，仅是活动力减弱，未见僵硬虫体。我们曾在1～2月最冷日期(生境地大气温度达－25.8～－32.0°C，幼虫栖息土层地温－2.0～－4.1°C）里进行多次调查，大多数幼虫刚出土，还能进行缓慢活动，但在外露约20分钟后，即完全冻僵、易碎，导致死亡。

（二）幼虫在冬季到来之前，一面大量取食，一面积累脂肪、碳水化合物和蛋白质。虫体肥胖和停止取食，特别是从肠道排出残余食物及幼虫向土层深度转移之后，幼虫为安全过冬，体内产生一系列生理调节，水份明显减少，而糖、蛋白质、脂肪和无机盐类等明显增加。本文的研究结果与Chippendale，1977对飞虱和蛱蝶等研究中所论述的：昆虫越冬和滞育之前须发生预定的物理、化学调节，其中包括营养储物的积累，以及包括行为的适应和越冬场所的选定的论点基本一致。

（三）幼虫在大气温度低达－20～－40°C，越冬土层地温－0.5～－6.8°C的严寒条件下，新陈代谢虽然十分微弱，但仍一直在进行，并且是靠糖的消耗来进行的。从而表明：该虫越冬进行的一系列生理调节活动，是适应环境因子的改变的结果。

（四）该虫是在严寒中越冬，因降低了新陈代谢作用，从而改变了体内水分的平衡。因此，当4月土层解冻、幼虫进入生长期间，有一段恢复期，此时期幼虫需要补充水分，且当时雪山草甸正值冰雪融化和土壤解冻，可充分满足虫体恢复期间所需水份，进入正常的生长取食时期。

参 考 文 献

沈南英等 1980 冬虫夏草初步研究。中草药 12（6）：273—275。

陈泰鲁等 1973 虫草蝙蝠蛾 *Hepialus armoricanus* Oberthur 生物学的初步研究。昆虫学报 16（2）：198—202。

杨大荣等 1987 云南虫草蝙蛾生态学的研究Ⅰ.区域分布和生态地理分布。动物学研究 8（1）：1—11。

杨大荣等 1987 虫草蝙蝠蛾幼虫和冬虫夏草氨基酸的研究。昆虫知识 24（4）：239—240。

杨跃雄等 1987 冬虫夏草及其寄主昆虫、人工培养菌丝体中微量元素的分析。中草药18（6）：19—20

Chippendale, C. M. , 1977 Hormonal regulation of larvae diapause, *Ann. Rev. Entomol*. 22: 121—132.

STUDY ON ECOLOGY OF HEPIALIDAE Ⅱ. THE OVERWINTER LARVA AND ITS PHYSIOLOGICAL REGULATION

Yang Darong Shen Farong Yang Yaoxong Long Yongchen

(Kunming Institute of Zoology, Academia Sinica)

Luzi Chunshong Sinaduji Yu Runqing

(Science and Technology Council of Deqin County)

In this paper, the overwinter larva, *Hepialus* sp. and its mechanism of the physiological regulation was reported. The results state clearly :(1). The insect survives through the winter in larva stase. The depth of the habitat in winter is between 5—35cm below the soil surface and most of the overwinter larva are found between 15—25cm below the surface. The larva in younger stages live less and those in older stages live more below the surface. The temperature of the soil is between $-6.8\sim-0.5$°C and the temperature of the soil, where most of the larva are found, is between $-2.5\sim0.5$°C. (2). At early stage, the amount of fat, glucose, protein and mineral material in-creases sharply, and the water content dereoses in the body of the overwinter larva. In the winter, as metabolisom consumes, the content of fat, glucose and protein decrease gradually and the water content decreasing continues. In spring the water content in the larva body increases sharply and the content of the othe other biological substance is still decreasing. It shows that the larva have carried out a series of physiological metabolism to regulate the biochemical composition in their body in order to overwinter.

Key words: *Hepialus*, Larvae, Overwinter, Metabolism, Physiological regulation.